

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-342088

(43)Date of publication of application : 13.12.1994

(51)Int.Cl. G04G 3/02  
H03L 1/02  
H03L 7/06

(21)Application number : 05-325168

(71)Applicant : SEIKO EPSON CORP

(22)Date of filing : 22.12.1993

(72)Inventor : SUDA HIDEKAZU

(30)Priority

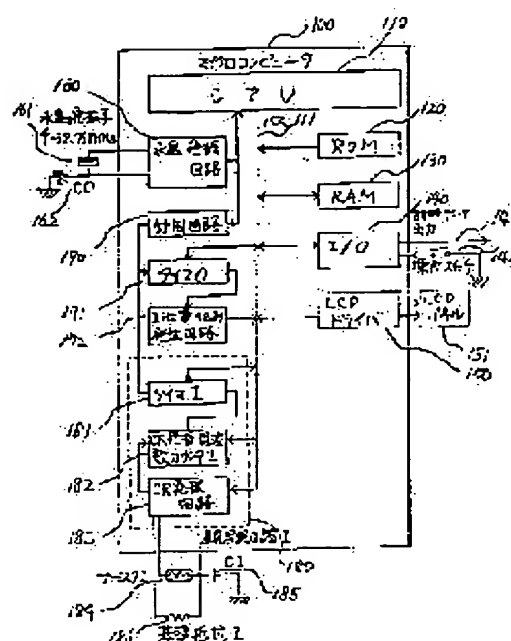
Priority number : 05 80903 Priority date : 07.04.1993 Priority country : JP

(54) TIMING METHOD, SEMICONDUCTOR DEVICE AND TIMER

(57)Abstract:

PURPOSE: To enable timing highly accurately temperature-compensated by conducting temperature measurement and the like with a temperature measurement circuit at every generation of timing signal.

CONSTITUTION: Fundamental vibration of 32.768kHz is generated with a crystal oscillation circuit 160, an added crystal vibrator 161 and a capacitor 162. The signal obtained by frequency-dividing the fundamental vibration at a dividing step 170 is supplied to a timer 0171 generating timing signal  $\phi 0$ . CPU110 performs temperature measurement, calculation of temperature compensation value for the timing data, and addition processing to the integrated timing data accordingly to the program contained in a ROM120. The results are stored in a RAM 130 as data for high accuracy time piece. For measuring temperature, a thermister 184, a capacitor C185, a reference resistor 186, etc., are used. By using the temperature measured with the temperature measurement circuit 1180 so constituted, the correction of temperature characteristic of the oscillation frequency of the crystal vibrator 161 is conducted.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

**THIS PAGE BLANK (USPT**

(11)特許出願公開番号

特開平6-342088

(43)公開日 平成6年(1994)12月13日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 4 G 3/02	D	9109-2F		
H 0 3 L 1/02		8730-5 J		
7/06		8730-5 J	H 0 3 L 7/ 06	B

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 18 頁)

(21)出願番号	特願平5-325168	(71)出願人	000002369 セイコーエプソン株式会社 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
(22)出願日	平成5年(1993)12月22日	(72)発明者	須田 英一 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
(31)優先権主張番号	特願平5-80903	(74)代理人	弁理士 鈴木 喜三郎 (外1名)
(32)優先日	平5(1993)4月7日		
(33)優先権主張国	日本(JP)		

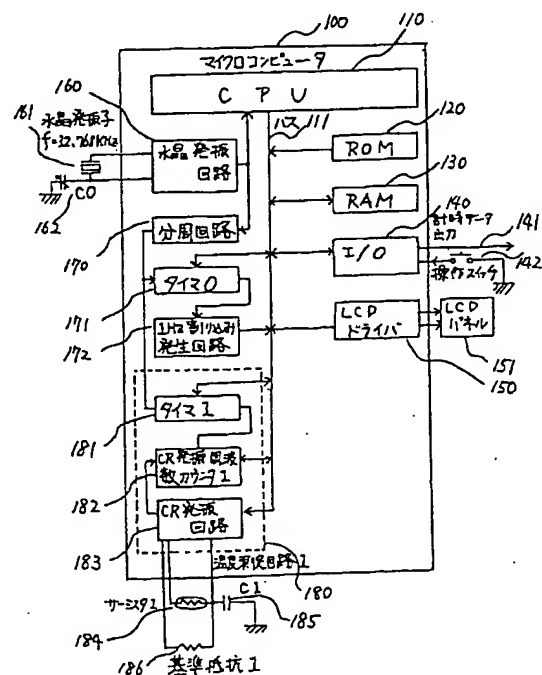
(54) 【発明の名称】 計時方式、半導体装置、計時装置

(57)【要約】

【目的】水晶発振を用いて計時する場合、発振周波数の温度補正を高精度に行うことを目的とする。

【構成】水晶発振回路と、分周段と、1 Hz タイマ割り込み回路と、温度測定回路と、水晶発振周波数偏差の温度特性データと、計時データの構成よりなり、計時毎に温度変動により生じた発振周波数の遅れを計時データに補正演算する手段を有する。

【効果】安価で小型の装置により、ppmオーダーの高精度で、かつ、リアルタイムに、計時データの温度補正ができ、精度の高い計時装置が実現できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 a) 水晶発振子、発振周波数調整用容量及び水晶発振回路と、

b) 温度センサ及び温度測定回路と、

c) 前記水晶発振回路からの信号を計時信号に変換する分周回路と、

d) 前記水晶発振子の発振周波数偏差の温度特性データを内蔵した記憶装置と、 e) 前記計時信号が発生する毎に、前記温度測定回路により温度測定を行う手段と、

f) 前記温度測定後に、前記記憶装置より読み出した測定温度に対応する発振周波数偏差と、前記分周回路より出力される常温時の計時信号周期との乗算演算を行い、計時信号周期の温度補正値を求める手段と、

g) 前記計時信号周期の温度補正値を求めた後に、前記常温時の計時信号周期と、前記計時信号の温度補正値とを計時値に加算演算を行う手段と、を有することを特徴とする計時方式。

【請求項2】 a) 水晶発振子、発振周波数調整用容量を外付け部品として必要とする水晶発振回路と、

b) 温度センサを外付け部品として必要とする温度測定回路と、

c) 前記水晶発振回路からの信号を計時信号に変換する分周回路と、

d) 前記外付け水晶発振子の発振周波数偏差の温度特性データを内蔵した記憶装置と、

e) 前記計時信号が発生する毎に、前記温度測定回路により温度測定を行う手段と、

f) 前記温度測定後に、前記記憶装置より読み出した測定温度に対応する発振周波数偏差と、前記分周回路より出力される常温時の計時信号周期との乗算演算を行い、計時信号周期の温度補正値を求める手段と、

g) 前記計時信号周期の温度補正値を求めた後に、前記常温時の計時信号周期と、前記計時信号の温度補正値とを計時値に加算演算を行う手段と、を有することを特徴とする半導体装置。

【請求項3】 a) 請求項2の半導体装置と、

b) 水晶発振子及び発振周波数調整用容量と、

c) 使用温度範囲の異なる複数の温度センサと、

d) 操作用入力装置と、

e) 計時値の表示装置及び出力装置と、より構成され、

f) 請求項1の計時方式を利用することを特徴とする計時装置。

【請求項4】 a) 水晶発振子、発振周波数調整用容量及び水晶発振回路と、

b) 温度センサ及び温度測定回路と、

c) 前記水晶発振回路からの信号を計時信号に変換する分周回路と、

d) 前記水晶発振子の発振周波数偏差の温度特性データを演算により算出する手段と、

e) 前記計時信号が発生する毎に、前記温度測定回路に

より温度測定を行う手段と、

f) 前記温度測定後に、前記演算により算出した測定温度に対応する発振周波数偏差と、前記分周回路より出力される常温時の計時信号周期との乗算演算を行い、計時信号周期の温度補正値を求める手段と、

g) 前記計時信号周期の温度補正値を求めた後に、前記常温時の計時信号周期と、前記計時信号の温度補正値とを計時値に加算演算を行う手段と、を有することを特徴とする計時方式。

【請求項5】 a) 水晶発振子、発振周波数調整用容量を外付け部品として必要とする水晶発振回路と、

b) 温度センサを外付け部品として必要とする温度測定回路と、

c) 前記水晶発振回路からの信号を計時信号に変換する分周回路と、

d) 前記外付け水晶発振子の発振周波数偏差の温度特性データを演算により算出する手段と、

e) 前記計時信号が発生する毎に、前記温度測定回路により温度測定を行う手段と、

f) 前記温度測定後に、前記演算により算出した測定温度に対応する発振周波数偏差と、前記分周回路より出力される常温時の計時信号周期との乗算演算を行い、計時信号周期の温度補正値を求める手段と、

g) 前記計時信号周期の温度補正値を求めた後に、前記常温時の計時信号周期と、前記計時信号の温度補正値とを計時値に加算演算を行う手段と、を有することを特徴とする半導体装置。

【請求項6】 a) 請求項5の半導体装置と、

b) 水晶発振子及び発振周波数調整用容量と、

c) 使用温度範囲の異なる複数の温度センサと、

d) 操作用入力装置と、

e) 計時値の表示装置及び出力装置と、より構成され、

f) 請求項4の計時方式を利用することを特徴とする計時装置。

【請求項7】 a) 水晶発振子、発振周波数調整用容量及び水晶発振回路と、

b) 使用温度範囲の異なる複数の温度センサ及び各々に対応した複数の温度測定回路と、

c) 前記水晶発振回路からの信号を計時信号に変換する分周回路と、

d) 前記水晶発振子の発振周波数偏差の温度特性データを内蔵した記憶装置、または前記水晶発振子の発振周波数偏差の温度特性データを演算により算出する手段と、

e) 前記計時信号が発生する毎に、前記使用温度範囲の異なる複数の温度センサ及び各々に対応した複数の温度測定回路から最も精度の高い温度測定値を選択して温度測定を行う手段と、

f) 前記温度測定後に、前記記憶装置より読み出した測定温度に対応する発振周波数偏差と、前記分周回路より出力される常温時の計時信号周期との乗算演算を行い、

計時信号周期の温度補正値を求める手段と、

g) 前記計時信号周期の温度補正値を求めた後に、前記常温時の計時信号周期と、前記計時信号の温度補正値とを計時値に加算演算を行う手段と、を有することを特徴とする計時方式。

【請求項8】 a) 水晶発振子、発振周波数調整用容量を外付け部品として必要とする水晶発振回路と、

b) 使用温度範囲の異なる複数の温度センサを外付け部品として必要とする各々に対応した複数の温度測定回路と、

c) 前記水晶発振回路からの信号を計時信号に変換する分周回路と、

d) 前記水晶発振子の発振周波数偏差の温度特性データを内蔵した記憶装置、または前記水晶発振子の発振周波数偏差の温度特性データを演算により算出する手段と、

e) 前記計時信号が発生する毎に、前記使用温度範囲の異なる複数の温度センサ及び各々に対応した複数の温度測定回路から最も精度の高い温度測定値を選択して温度測定を行う手段と、

f) 前記温度測定後に、前記記憶装置より読み出した測定温度に対応する発振周波数偏差と、前記分周回路より出力される常温時の計時信号周期との乗算演算を行い、計時信号周期の温度補正値を求める手段と、

g) 前記計時信号周期の温度補正値を求めた後に、前記常温時の計時信号周期と、前記計時信号の温度補正値とを計時値に加算演算を行う手段と、を有することを特徴とする半導体装置。

【請求項9】 a) 請求項8の半導体装置と、

b) 水晶発振子及び発振周波数調整用容量と、

c) 使用温度範囲の異なる複数の温度センサと、

d) 操作入力装置と、

e) 計時値の表示装置及び出力装置と、より構成され、

f) 請求項7の計時方式を利用することを特徴とする計時装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、CPU方式による時計やリアルタイムクロック等を高精度に温度補正するものである。通常、CPUソフトウェアで処理される計時データは、原振の水晶発振周波数を分周回路で分周した信号を基にして、その周期毎に、CPUで管理されるメモリ上の計時データバッファへ、計時データの最小単位が加算される方式を取る。例えば、分周回路の最終段が1 Hz 信号の場合は、その1 Hz 信号から発生した1 Hz タイマ割り込み信号をCPUが認識し、1 Hz タイマ割り込み発生毎に計時データバッファの1秒桁に1加算されることになる。ただし、水晶発振子及び発振回路は、発振周波数温度特性を有するため、高精度な計時を行うためには、発振周波数温度特性による計時データの補正を行う必要がある。本発明では、計時データの最小単位

が加算される周期で、単数または複数の温度センサ及び温度測定回路により温度測定を行い、測定温度に対応した水晶発振子の発振周波数偏差の温度特性データを、メモリから読み出し、または演算により算出し、発振周波数偏差の温度特性データより計時データ補正値を算出し、その計時データ補正値を計時データバッファに加算することを特徴とする温度補正された計時手段、及び、その温度補正された計時手段を実現するための、温度センサと水晶振動子を外付け部品とする半導体装置、及び、計時装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来の計時装置における計時の温度補正方法としては、温度測定結果を基にして、容量緩急等の手段により水晶発振子の原振調整を行うか、または、プログラブル分周器による分周比調整や、温度補正用追加パルス挿入等の手段により原振の分周段で調整を行うか、による方法が用いられていた。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかし従来技術では、以下の問題点がある。容量緩急等の手段により水晶発振子の原振調整を行う方法では、発振回路内の容量を、各温度に対する発振周波数誤差を補正すべく微調整する必要があり、パルスデューティ制御や複数並列結合容量のスイッチング制御等の複雑なハードウェア構成が要求され、容量素子の部品毎の特性ばらつきに対する調整等の問題も残る。従って、容量緩急等の手段により水晶発振子の原振調整を行う従来技術では、高精度な計時装置が安価には実現できない問題点を有す。

【0004】 また、分周段で調整する方法では、分周比調整の手段でも補正パルス挿入の手段でも、補正の最小単位が原振周波数以下にできないため、補正精度に限界が生じる。例えば、水晶発振周波数が32,768 KHz の場合では、分周器で調整できる最小単位は30.5  $\mu$ sec となり、1秒周期で補正する場合は、補正精度の最小単位は30.5  $\mu$ sec / 1sec = 30.5 ppm となり、年差時計等を実現するためには十分な補正精度が得られない。また、補正を行う周期を長くすることにより、見かけ上の補正精度は良くなるが、1周期の間は温度変化が無いと仮定された手法であるため、温度変化が生じる毎に、実質の精度は悪化する。例えば、補正周期を100秒とすると、補正精度の最小単位は30.5  $\mu$ sec / 100sec = 0.305 ppm となるものの、100秒間温度一定が前提となり、一般の時計やリアルタイムクロック等の計時装置の使用環境を想定した場合、現実的でない。従って、分周段で調整を行う従来技術の方式では、十分高精度な計時の温度補正が行えない問題点を有す。

【0005】 そこで、本発明はこのような問題を解決するもので、計時装置の使用環境を考慮した適当な周期で温度測定を行い、温度測定毎にメモリ呼出し、または、

演算算出による高精度な発振周波数の温度補正データを、未補正の計時データに加算することにより、高精度に温度補正された計時を実現する手段、半導体装置、計時装置を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明の計時方式は、

- a) 水晶発振子、発振周波数調整用容量及び水晶発振回路と、
- b) 温度センサ及び温度測定回路と、
- c) 前記水晶発振回路からの信号を計時信号に変換する分周回路と、
- d) 前記水晶発振子の発振周波数偏差の温度特性データを内蔵した記憶装置と、 e) 前記計時信号が発生する毎に、前記温度測定回路により温度測定を行う手段と、
- f) 前記温度測定後に、前記記憶装置より読み出した測定温度に対応する発振周波数偏差と、前記分周回路より出力される常温時の計時信号周期との乗算演算を行い、計時信号周期の温度補正値を求める手段と、
- g) 前記計時信号周期の温度補正値を求めた後に、前記常温時の計時信号周期と、前記計時信号の温度補正値とを計時値に加算演算を行う手段と、を有することを特徴とする。

【0007】また、本発明の半導体装置は、

- a) 水晶発振子、発振周波数調整用容量を外付け部品として必要とする水晶発振回路と、
- b) 温度センサを外付け部品として必要とする温度測定回路と、
- c) 前記水晶発振回路からの信号を計時信号に変換する分周回路と、
- d) 前記外付け水晶発振子の発振周波数偏差の温度特性データを内蔵した記憶装置と、
- e) 前記計時信号が発生する毎に、前記温度測定回路により温度測定を行う手段と、
- f) 前記温度測定後に、前記記憶装置より読み出した測定温度に対応する発振周波数偏差と、前記分周回路より出力される常温時の計時信号周期との乗算演算を行い、計時信号周期の温度補正値を求める手段と、
- g) 前記計時信号周期の温度補正値を求めた後に、前記常温時の計時信号周期と、前記計時信号の温度補正値とを計時値に加算演算を行う手段と、を有することを特徴とする。

【0008】また、本発明の計時方式は、

- a) 水晶発振子、発振周波数調整用容量及び水晶発振回路と、
- b) 温度センサ及び温度測定回路と、
- c) 前記水晶発振回路からの信号を計時信号に変換する分周回路と、
- d) 前記水晶発振子の発振周波数偏差の温度特性データを演算により算出する手段と、
- e) 前記計時信号が発生する毎に、前記温度測定回路に

より温度測定を行う手段と、

- f) 前記温度測定後に、前記演算により算出した測定温度に対応する発振周波数偏差と、前記分周回路より出力される常温時の計時信号周期との乗算演算を行い、計時信号周期の温度補正値を求める手段と、
- g) 前記計時信号周期の温度補正値を求めた後に、前記常温時の計時信号周期と、前記計時信号の温度補正値とを計時値に加算演算を行う手段と、を有することを特徴とする。

【0009】また、本発明の半導体装置は、

- a) 水晶発振子、発振周波数調整用容量を外付け部品として必要とする水晶発振回路と、
- b) 温度センサを外付け部品として必要とする温度測定回路と、
- c) 前記水晶発振回路からの信号を計時信号に変換する分周回路と、
- d) 前記外付け水晶発振子の発振周波数偏差の温度特性データを演算により算出する手段と、
- e) 前記計時信号が発生する毎に、前記温度測定回路により温度測定を行う手段と、
- f) 前記温度測定後に、前記演算により算出した測定温度に対応する発振周波数偏差と、前記分周回路より出力される常温時の計時信号周期との乗算演算を行い、計時信号周期の温度補正値を求める手段と、
- g) 前記計時信号周期の温度補正値を求めた後に、前記常温時の計時信号周期と、前記計時信号の温度補正値とを計時値に加算演算を行う手段と、を有することを特徴とする。

【0010】また、本発明の計時方式は、

- a) 水晶発振子、発振周波数調整用容量及び水晶発振回路と、
- b) 使用温度範囲の異なる複数の温度センサ及び各々に対応した複数の温度測定回路と、
- c) 前記水晶発振回路からの信号を計時信号に変換する分周回路と、
- d) 前記水晶発振子の発振周波数偏差の温度特性データを内蔵した記憶装置、または前記水晶発振子の発振周波数偏差の温度特性データを演算により算出する手段と、
- e) 前記計時信号が発生する毎に、前記使用温度範囲の異なる複数の温度センサ及び各々に対応した複数の温度測定回路から最も精度の高い温度測定値を選択して温度測定を行う手段と、
- f) 前記温度測定後に、前記記憶装置より読み出した測定温度に対応する発振周波数偏差と、前記分周回路より出力される常温時の計時信号周期との乗算演算を行い、計時信号周期の温度補正値を求める手段と、
- g) 前記計時信号周期の温度補正値を求めた後に、前記常温時の計時信号周期と、前記計時信号の温度補正値とを計時値に加算演算を行う手段と、を有することを特徴とする。

【0011】また、本発明の半導体装置は、

- a) 水晶発振子、発振周波数調整用容量を外付け部品として必要とする水晶発振回路と、
- b) 使用温度範囲の異なる複数の温度センサを外付け部品として必要とする各々に対応した複数の温度測定回路と、
- c) 前記水晶発振回路からの信号を計時信号に変換する分周回路と、
- d) 前記水晶発振子の発振周波数偏差の温度特性データを内蔵した記憶装置、または前記水晶発振子の発振周波数偏差の温度特性データを演算により算出する手段と、
- e) 前記計時信号が発生する毎に、前記使用温度範囲の異なる複数の温度センサ及び各々に対応した複数の温度測定回路から最も精度の高い温度測定値を選択して温度測定を行う手段と、
- f) 前記温度測定後に、前記記憶装置より読み出した測定温度に対応する発振周波数偏差と、前記分周回路より出力される常温時の計時信号周期との乗算演算を行い、計時信号周期の温度補正値を求める手段と、
- g) 前記計時信号周期の温度補正値を求めた後に、前記常温時の計時信号周期と、前記計時信号の温度補正値とを計時値に加算演算を行う手段と、を有することを特徴とする。

【0012】また、本発明の計時装置は、

- a) 上記の半導体装置と、
- b) 水晶発振子及び発振周波数調整用容量と、
- c) 使用温度範囲の異なる複数の温度センサと、
- d) 操作用入力装置と、
- e) 計時値の表示装置及び出力装置と、より構成され、
- f) 上記の計時方式を利用することを特徴とする。

【0013】

【作用】本発明の作用について説明する。原振の水晶発振周波数を $f$ 、計時データバッファに計時データの最小単位をCPUにより加算する周期を $\tau$ 、その計時データ加算時の測定温度を $T$ 、その温度での発振周波数偏差を $\Delta f(T)/f$ とすると、計時データ補正値 $\Delta\tau$ は $(-\tau \cdot \Delta f(T)/f)$ となる。従って、計時データバッファに加算される補正された計時データ $\tau$ は $\tau + \Delta\tau = \tau \cdot (1 - \Delta f(T)/f)$ により得られる。計時データ加算周期毎、あるいは、その整数倍の周期で

【0014】

【実施例】以下に本発明の詳細を図示した実施例に基づき説明する。

【0015】図1に本発明の実施例であるマイクロコンピュータ制御による1センサー方式の温度補正計時機能を持つデジタル時計のブロック図を示す。

【0016】図2に本発明の実施例であるマイクロコン

ピュータ制御による2センサー方式の温度補正計時機能を持つデジタル時計のブロック図を示す。

【0017】図3に温度より水晶発振周波数偏差をデータテーブル変換によって求める温度補正計時機能の制御フローチャートを示す。

【0018】図4に温度より水晶発振周波数偏差を2乗演算によって求める温度補正計時機能の制御フローチャートを示す。

【0019】図5に低温用と高温用との2センサー方式による温度補正計時機能の制御フローチャートを示す。

【0020】図6に水晶発振周波数精度温度特性のグラフを示す。

【0021】図7にデータRAM上の計時データの構成図を示す。

【0022】図8に温度センサ(サーミスタ)の抵抗値温度特性のグラフを示す。

【0023】まず、図1の説明を行う。基本的計時機能については、デジタル時計用マイクロコンピュータ(100)LSIに内蔵された水晶発振回路(160)と外付け水晶発振子(161)及び発振周波数調整用外付けコンデンサC0(162)とで発生する32.768KHzの原振を発生する。発振周波数調整用外付けコンデンサC0(162)の調整により、外付け水晶発振子(161)及び内蔵の水晶発振回路(160)の持つ部品特性のばらつきを取り除くことが出来る。この原振を分周段(170)で分周して得られる信号を、CPU(110)で処理できる程度の低速の計時データ最小単位時間 $\tau$ を発生するタイマ割り込み発生回路(172)用タイマ0(171)に供給する。CPUは周期 $\tau$ の割り込み発生毎に、ROM(120)に内蔵されたプログラムにより、温度測定、計時データの温度補正値演算、及び、積算計時データへの加算処理を行い、RAM(130)上にマッピングされた計時データバッファに高精度計時用データとして保存される。ただし、温度測定及び計時データの温度補正値演算は、使用環境の温度変化の割合を考慮して、温度変化が穏やかな場合には、割り込み周期 $\tau$ の整数倍のタイミングで1回測定し、その期間の平均温度として温度補正演算するよう、ROM(120)内にプログラムすることも可能である。温度測定には、内蔵のタイマ1(181)、CR発振カウンタ1(182)、CR発振回路1(183)、及び、外付けの温度センサであるサーミスタ(184)、コンデンサC(185)、基準抵抗1(186)が用いられる。それらで構成された温度測定回路1(180)及び外付け部品より得られた測定温度を用いて、水晶発振子(161)の発振周波数の温度特性の補正を行う。補正は予め設定されたROM(120)内の変換データまたは変換演算プログラムによって行われる。また、内蔵の水晶発振回路(160)に関しても、内蔵定電圧回路等により、動作電圧特性による水晶発振周

波数偏差を、ある程度押え込むことが出来るものの、温度特性をやはり持つため、予め予測できる場合は、水晶発振子(161)の温度特性に、水晶発振回路(160)の温度特性を付加した温度補正用の変換データまたは変換演算プログラムをROM(120)内に設定することができる。ほぼリアルタイムに温度補正されたRAM(130)上の高精度時計用データは内蔵のLCDドライバ(150)を介して外付けのLCDパネル(151)に時刻、及び、年月日データとして表示される。さらに、I/O(140)を介してリアルタイムクロック用の計時データ出力(141)として他の機器へ通信される。また、外付け入力装置SW(142)は、I/Oを介してマイクロコンピュータに取り込まれ、時計データ修正やモード変更処理等に用いられる。

【0024】次に、温度測定の方法、及び、計時データの温度補正をテーブルデータ変換により制御する方法を、図1、図3で説明する。図3で、タイマ0割り込みINT、 $\tau$ 。(300)処理に入ると、まず、温度測定処理を行う。温度測定回路1(180)内のCR発振回路1(183)をONし(310)、タイマ1(18

$$f_{C1-R1ref} = K / (C1 \times R1ref) \quad \dots (1800)$$

ここで、KはCR発振回路固有の発振係数である。タイマ1(181)の初期値： $t_{init}$ とCR発振周波数カウンタ1(182)の初期値： $CNT_{init}$ との関係は、次式で与えられる。

$$t_{init} = CNT_{init} \times (C1 \times R1ref) / K \quad \dots (1802)$$

となる。

【0028】その後、サーミスタ1(184)： $R1_{ther}$ とコンデンサC1(185)：C1とのCR発振をスタートし、先ほど得られたタイマ1(181)の初期値： $t_{init}$ より、今度は逆に、アップカウントし、タイマ1(181)がオーバーフローするまでの時間、CR★

$$f_{C1-R1ther} = K / (C1 \times R1ther) \quad \dots (1803)$$

また、カウント値： $CNT_{ther}$ はタイマ1(181)の初期値： $t_{init}$ とCR発振周波数： $f_{C1-R1ref}$ とから、次式で与えられる。

$$CNT_{ther} = t_{init} \times f_{C1-R1ref} \quad \dots (1804)$$

ここに、式(1802)、(1803)を代入すると、 $CNT_{ther} = \{CNT_{init} \times (C1 \times R1ref) / K\} \times \{K / (C1 \times R1ther)\}$

$$R1ther = R1ref \times CNT_{init} / CNT_{ther} \quad \dots (1806)$$

この方法により、温度測定回路1(180)やコンデンサ1(185)が持つ部品特性のばらつきを、温度測定手段の中から取り除くことが出来る。従って、基準抵抗1(186)の特性のみを合わせ込めば、サーミスタ1(184)の精度向上が、温度測定精度向上に結びつく。温度測定が完了後、パワーセーブのためにCR発振回路1(183)をOFFする。

【0031】ここで得られたカウント値： $CNT_{ther}$

＊1)に初期値をセットする。タイマ1(181)をスタート(311)した直後に、CR発振周波数カウンタ1(182)をカウントアップし(312)、タイマ1(181)がオーバーフローするまで継続してカウントアップして待つ(313)。タイマ1(181)がオーバーフローした直後にCR発振周波数カウンタ1(182)をストップし(314)、一定時間内で外付けのサーミスタ1(184)とコンデンサC1(185)とでCR発振したカウント値が得られる。

【0025】ここで、タイマ1(181)に一定時間を設定するために、CR発振周波数カウンタ1(182)に初期設定された一定のカウント値： $CNT_{init}$ がオーバーフローするまで基準抵抗1(186)： $R1_{ref}$ とコンデンサC1(185)：C1とでCR発振させ、その時間をタイマ1(181)のダウンカウントにて測定する方法で初期値： $t_{init}$ のセットを行う。この場合、基準抵抗1(186)： $R1_{ref}$ とコンデンサC1(185)：C1とのCR発振周波数： $f_{C1-R1ref}$ は、次の式で表される。

$$f_{C1-R1ref} = K / (C1 \times R1ref) \quad \dots (1800)$$

$$t_{init} = CNT_{init} / f_{C1-R1ref} \quad \dots (1801)$$

ここに、式(1800)を代入すると、

★発振周波数カウンタ1(182)をカウントアップ(312)してカウント値： $CNT_{ther}$ を求める方法を用いる。この場合、サーミスタ1(184)： $R1_{ther}$ とコンデンサC1(185)：C1とのCR発振周波数： $f_{C1-R1ther}$ は、次の式で表される。

$$f_{C1-R1ther} = K / (C1 \times R1ther) \quad \dots (1803)$$

☆ $CNT_{ther} = CNT_{init} \times R1ref / R1ther \quad \dots (1805)$ となり、部品個別ばらつきを持つCR発振係数：K、及び、外付けコンデンサ：C1が消去され、サーミスタ1(184)の抵抗値 $R1_{ther}$ の値が、CR発振周波数カウンタ1(182)のカウント値： $CNT_{ther}$ 、初期値： $CNT_{init}$ 、及び、基準抵抗1(186)の抵抗値 $R1_{ref}$ によって得られる。式(1805)より、

を、ROM(120)内にあらかじめ準備された変換テーブルに従って温度データ(T)に変換する(320)。この変換テーブルデータは、式(1806)、及び、サーミスタ1(184)の抵抗温度特性データから作成することができる。更に、別の変換テーブルに従って測定温度より水晶発振周波数偏差( $\Delta f(T)/f$ )を求める(330)。一般に水晶発振子の周波数温度特性は図6の様な負の2次関数特性を持つが、水晶発振子



の種類によっては3次関数特性のものもある。また、発振回路の周波数温度特性を無視することができない場合もある。このような単純演算では近似しきれない周波数温度特性の場合、補正処理はROM(120)内にあらかじめ準備された変換テーブル方式が有利である。また、中間の、測定温度データが不要の場合は、カウンタ値: CNT<sub>ther</sub>から直接、水晶発振周波数偏差に変換する事も可能である。水晶発振周波数偏差( $\Delta f(T)/f$ )とタイマ0の割り込み周期( $\tau_0$ )の積算演算結果 \*

$$t_{\text{new}}(T) = t_{\text{pre}}(T) + \tau_0 + \Delta\tau(T) \quad \dots (3500)$$

以上で、タイマ0割り込みサブルーチンが完了する(360)。

【0033】式(3400)を式(3500)に代入す\*

$$t_{\text{new}}(T) = t_{\text{pre}}(T) + \tau_0 \cdot (1 - \Delta f(T)/f) \quad \dots (3501)$$

ここで、 $\tau_0 \cdot (1 - \Delta f(T)/f)$ は温度補正されたタイマ0の割り込み周期 $\tau(T)$ を意味する。★

$$\tau(T) = \tau_0 \cdot (1 - \Delta f(T)/f) \quad \dots (3502)$$

この制御フローでは、タイマ0割り込み周期( $\tau_0$ )毎に、毎回、温度測定する場合を示したが、使用環境を考慮し温度変化が穏やかな場合には、パワーセーブするために、温度がほぼ一定と想定される期間をタイマ0割り込み周期( $\tau_0$ )の整数倍で設定し、その期間に1回のみ温度測定を行い、その期間の平均測定温度T<sub>average</sub> ☆

$$t_{\text{new}}(T) = t_{\text{pre}}(T) + \tau(T_{\text{average}}) \quad \dots (3503)$$

例えば、一般的な時計の場合、計時データの最小単位は1秒であることが多い。その場合、タイマ0の割り込み周期 $\tau_0 = 1\text{Hz}$ となり、式(3400)の積算演算が省略できる。つまり $\Delta\tau(T) = -\Delta f(T)/f$ となる。その時計の使用環境の温度変化が穏やかで、例えば、10秒間は温度一定とみなしても、誤差が無視できるなら、10秒間隔で温度測定及び補正演算を行いメモリ上に保存し、その10秒間の計時データ補正定数として使用する。そうすることで、温度測定及び補正演算処理の動作デューティを1/10に減らすことができ、パワーセーブできる。温度測定周期を1秒間隔にするか、10秒間隔にするか、あるいは、30秒間隔にするかは、計時装置が使用される環境に依存する。ただし、一般的に、本発明で利用したサーミスタのCR発振によ

$$\Delta f(T)/f = -a(T - 25)^2 \quad \dots (6000)$$

図3の温度(T)/水晶発振周波数偏差( $\Delta f(T)/f$ )のデータテーブル変換(330)の代わりに、上記数式の演算を実行する方法も可能である。図1のデジタル時計のブロック図及び図4のフローチャートで、測定温度より水晶発振周波数偏差を自乗演算によって求める場合の温度補正制御の説明を行なう。図1のデジタル時計の及びマイクロコンピュータ(100)のブロック図は、データテーブル変換の場合と全く同じである。異なるのは、ROM(120)に内蔵されている温度(T)/水晶発振周波数偏差( $\Delta f(T)/f$ )変換プログラムのみである。図4のフローチャート内で、割り込み周

\*のマイナス値を、タイマ0割り込み周期の補正值 $\Delta\tau(T)$ として求める。

【0032】

$$\Delta\tau = -\tau_0 \cdot \Delta f(T)/f \quad \dots (3400)$$

RAM(130)上の計時データバッファに保存されている以前の計時値( $t_{\text{pre}}(T)$ )に、タイマ0割り込み周期( $\tau_0$ )と、タイマ0割り込み周期の補正值 $\Delta\tau(T)$ とを加算演算することによって、温度補正された新しい計時値( $t_{\text{new}}(T)$ )が得られる。

$$t_{\text{new}}(T) = t_{\text{pre}}(T) + \tau_0 + \Delta\tau(T) \quad \dots (3500)$$

※ると、下式になる。

【0034】

★【0035】

☆として扱う。その場合、補正演算も1回のみ行い、演算結果 $\tau_0 \cdot (1 - \Delta f(T_{\text{average}})/f)$ をその期間の温度補正されたタイマ0の割り込み周期 $\tau(T_{\text{average}})$ としてRAM(130)上に保存し、定数として計時演算に使用する。

【0036】

◆る温度測定では、0.5秒程度以上時間をかけないと、精度の高い温度測定が行えないため、温度測定周期は1秒以上となる。また、計時装置の使用環境の温度変化に対して、温度測定周期の最小値が1秒であることで、ほとんどの場合、実用上の問題は生じない。

【0037】水晶発振周波数精度の温度特性の例を図6で説明する。横軸が温度(610)、縦軸が周波数精度 $\Delta f/f$ (600)で、 $T = 25^\circ\text{C}$ のところで周波数精度 $\Delta f/f = 0$ のピークを持つ(620)。 $T = 25^\circ\text{C}$ のピークから温度が上がっても、下がっても、温度の二次関数に比例して発振周波数は遅くなる特性を持つ(630)。従って、周波数精度 $\Delta f/f$ (230)は、下記数式で表現できる。

【0038】

$$\Delta f(T)/f = -a(T - 25)^2 \quad \dots (6000)$$

期 $\tau_0$ のタイマ0割り込みルーチン(400)から温度測定(410~420)までは、同等で、測定温度(T)と標準温度( $T_0$ )の差の自乗演算によって水晶発振周波数偏差( $\Delta f(T)/f$ )を求める処理(430)が異なる。それ以降の、温度補正された計時値を算出する処理(450)までも全く同等である。

【0039】温度/水晶発振周波数偏差の変換で、データテーブル方式と演算方式との比較を行なうと、データテーブル変換方式は、変換処理実行時間が速いメリットがある。また、温度/水晶発振周波数偏差が二次関数に比例しない水晶発振子にもデータテーブルの内容変更の

みで容易に対応できるメリットもある。しかしながら、ROM容量が多く必要で、データテーブルを構成するデータ数もROM容量の制約を受けるため、データテーブルの温度ピッチ間隔があき、量子化誤差が発生する。特に、 $T=25^{\circ}\text{C}$ を中心とした場合の高温域または低温域においては、その量子化誤差の影響を受ける度合いが大きくなる。

【0040】一方、演算により水晶発振周波数偏差( $\Delta f(T)/f$ )を求める方法では、変換のための自乗演算実行時間が、データテーブル変換より遅いというデメリットがあるが、ROM容量は少なくして実現でき、また、量子化誤差も基本的には存在しない。

【0041】次に、図7のデータRAM上の計時データ\*

$$\Delta f(T)/f = -a(T-25)^2 \quad \dots (7201)$$

$a=0.033 \quad \dots (7201)$

演算により水晶発振周波数偏差 $\Delta f(T)/f$ を求める※

$$\Delta f(30.00)/f = -0.033 \times (30.00-25)^2 = -0.825 \quad \dots (7202)$$

ここでは、水晶発振周波数偏差(720)は $1/100$ ppm単位までのBCD4桁のメモリのため、四捨五入★20

$$\Delta f(30.00)/f = -0.83 \quad \dots (7203)$$

となる。

【0044】更に、計時割り込み周期 $\tau_0$ との積算演算によって、最小 $0.01\mu\text{sec}$ 単位のBCD9桁の計時割り込み周期の温度補正值(730)を求める。☆

$$\begin{aligned} \Delta \tau(30.00) &= -\tau_0 \times \Delta f(30.00)/f \\ &= -1 \times (-0.83) \\ &= 0.83 [\mu\text{sec}] \\ &= 0.00000083 [\text{sec}] \quad \dots (7301) \end{aligned}$$

計時割り込みが発生する毎に更新する計時値データは(740)、BCD4桁の年データ、BCD2桁の月データ、BCD2桁の日データ、BCD2桁の時データ、BCD2桁の分データ、BCD2桁の秒データ、BCD8桁の温度補正データよりなる計BCD22桁データで構成される。この計時データに、計時割り込み周期(750)と、計時割り込み周期の温度補正值を加算することにより、温度補正された計時値(770)が求められる。

【0047】

$$\begin{aligned} &1992\ 12\ 31\ 23\ 59\ 58.99999920\ (7400) \\ &+ \quad \quad \quad 1.0 \quad (7500) \\ &+ \quad \quad \quad 0.00000083\ (7600) \\ &= 1993\ 01\ 01\ 00\ 00\ 00.00000003\ (7700) \end{aligned}$$

更新以前の計時値(740)と、更新後の新しい計時値(770)とは、同等のデータ構成で、同一アドレスのRAMに上書きされる形で格納される。この更新後の新しい計時値(770)の、温度補正部分を除いた秒桁以上のデータが、デジタル時計用表示データ(780)として、表示バッファに転送され表示処理される。

【0048】1993 01 01 00 00 00 (7800)

\*の構成について説明する。図1のRAM(130)内に格納されるデータは、図3のテーブルデータ変換方式の場合も、図4の演算方式の場合も、同等の構成である。まず、温度測定回路1(180)内のCR発振周波数カウンタ1(182)上の16ビットバイナリカウンタデータから、最小 $1/100^{\circ}\text{C}$ 単位までのBCD4桁の測定温度データ(710)に変換される。図3のテーブルデータ変換方式、あるいは、図4の演算方式によって、 $1/100\text{ppm}$ 単位までのBCD4桁の水晶発振周波数偏差(720)に変換する。

【0042】例えば、測定温度

$$T=30.00^{\circ}\text{C} \quad \dots (7100)$$

の場合で、水晶発振子温度特性が、下記の場合は、

$$\dots (7200)$$

※と、下記のようになる。

【0043】

★処理されて、実際にメモリに格納される値は、

$$\star [0045] \tau_0 = 1 [\text{sec}] \quad \dots (7300)$$

の場合には、積算演算は、実質上省略される。

【0046】

ここでは、四捨五入処理は行われず、新しい計時値(770)の表示部分のみが転送され、データそのものは、小数点以下8桁まで、メモリ上に保存され、次の計時値更新時に、新たな計時割り込み周期とその補正值が加算される。

【0049】精度に関しては、測定温度精度(700、710)、水晶発振子温度特性精度(720)、計時割り込み周期の温度補正值精度(730)とに分解して考慮する必要がある。

【0050】測定温度精度(700、710)に関しては、サーミスタそのものは、使用温度範囲を限れば $\pm 0.03^{\circ}\text{C}$ のもまで市販されている。また、広い温度範囲を高精度で温度測定する方法として複数の特性の異なるサーミスタを併用する方法がある。温度測定回路での誤差要因として、CR発振周波数、CR発振周波数カウンタのビット数、温度測定に要する時間、等がある。従って、測定温度精度は、測定温度範囲、使用するサーミスタ、価格制約で許容される温度測定回路規模、消費電流制約で許容される温度測定時間等によりさまざまであるが、一般的には、 $\pm 1.0^{\circ}\text{C} \sim \pm 0.05^{\circ}\text{C}$ 程度は、測定可能である。

【0051】水晶発振子温度特性精度(720)に関しては、水晶発振子の部品ばらつき、演算式からの実特性のずれ、テーブルデータ変換による量子化誤差、演算及び格納メモリのビット数制約、演算時間制約、及び、水晶発振回路の温度特性等の誤差要因がある。水晶発振子の部品ばらつきは、常温時の発振周波数はトリマコンデンサ調整等の初期調整で取り除け、温度特性の部品ばらつきは無視できる程度に小さい。テーブルデータ変換による量子化誤差、演算及び格納メモリのビット数制約は、マイクロコンピュータのメモリ(ROM, RAM)をどの程度使用可能かで決まる。演算方式の場合の演算時間は、上記の例のBCD4桁の2乗演算(720)及びBCD9桁の加算演算(760)の場合、32.768KHzで動作するマイクロコンピュータで、100msec程度で完了できる。温度測定時間500msec~1sec程度に比べ十分短時間で、演算処理と温度測定とは並列処理可能であるため、演算処理時間は一般に制約にはならない場合が多い。

【0052】水晶発振回路の温度特性は、1次関数近似を行い、水晶発振子の温度特性演算式2次または3次関数に付加する形の1つの演算式にまとめて演算処理可能である。また、水晶発振回路と水晶発振子の温度特性を付加したテーブルデータ変換を用いれば、1つのテーブルデータ変換にまとめることもできる。以上のように、水晶発振温度特性精度は、メモリの使用規模の制約に依存するものの、理論上は限りなく0に近付けることができる。

【0053】計時割り込み周期の温度補正值演算精度(730)は、演算規模も小さく、ここでの誤差は0と考えられる。上記の計算例(730)では、BCD2桁とBCD4桁の積算と小数点位置の6桁左シフトを行っているのみである。

【0054】以上より、水晶発振子温度特性精度や温度補正值演算精度は温度測定精度に比べ十分高精度なため、ほぼ無視できる。従って、全体の計時精度はほぼ温度測定精度によって決まる。

【0055】次に、図2のブロック図及び図5のフローチャートに示すマイクロコンピュータ制御による2センサー方式の温度補正計時機能を持つデジタル時計について説明する。図1の1センサー方式のブロック図と、図2の2センサー方式のブロック図との相違点は、(1)温度測定回路2(290)、サーミスタ2(294)、C2(295)、基準抵抗2(296)が追加になっていることと、(2)サーミスタ1、サーミスタ2に各々高温用、低温用の限られた範囲内で高精度の特性をもつセンサーが使用されていることと、(3)ROM(220)に内蔵された制御プログラムが図5のフローチャートに示すように、温度測定時に、より高精度に温度測定が可能なサーミスタを選択した後に、計時値の温度補正処理を行っている点である。

【0056】追加された温度測定回路2(290)は、温度測定回路1(280)と同様の構成になっており、CR発振回路2(293)、CR発振周波数カウンタ2(292)、及び、タイマ2(291)よりなる。図1の1センサー方式の場合のサーミスタ(184)は、1センサーで測定温度範囲を全てカバーする必要があるため、低温、高温の両方の領域でも、ある程度精度が得られる特性をもつサーミスタを使用せざるを得ない。図8に、サーミスタ抵抗値の温度特性のグラフを示す。横軸が温度(810)、縦軸がサーミスタ抵抗値(800)である。測定温度範囲(850)を $-40^{\circ}\text{C}$ から $+70^{\circ}\text{C}$ とすると、1センサー方式の場合の例として、サーミスタB(830)を使用する。この場合、 $25^{\circ}\text{C}$ 周辺の常温域では温度測定に関する問題は無いが、低温域、高温域共に測定精度上の問題が生じる。低温域では、サーミスタの抵抗値が急激に大きくなり、抵抗値の逆数に比例するCR発振周波数は低くなる。タイマ1(181)に設定された一定時間は、CR発振周波数カウンタ1(182)が、最もCR発振周波数が高い場合でも、カウンタオーバーフローが発生しないように設定されているため、CR発振周波数が低い領域では、CR発振周波数カウンタ1(182)のカウンタ値が小さくなり、測定誤差の相対的比率が大きくなる。一方、高温域では、CR発振周波数カウンタ1(182)のカウンタ値は大きいため、測定誤差の相対比率は無視できるほど小さくなるが、サーミスタB(830)のグラフの $+50^{\circ}\text{C}$ 以上で示されているように、温度変化量に対するサーミスタ抵抗値の変化量が著しく小さくなり、その結果、測定誤差が大きくなる。更に、図6の水晶発振周波数温度特性のグラフに示すように、 $+25^{\circ}\text{C}$ を中心とする温度の2次関数となっており、測定温度から水晶発振周波数精度に変換する場合、温度測定誤差の自乗に比例して水晶発振周波数誤差が生じるため、低温域及び高温域へ行くほど、温度測定誤差の影響が大きくなる。従って、計時値の温度補正精度も、低温域及び高温域で著しく低下する欠点を持つ。この欠点を補うために、2センサー方式の温度補正が有効となる。本発明の実施例として、図8の低温域用サーミスタC(840)を、サーミスタ1(284)に使用し、高温域用サーミスタA(820)を、サーミスタ2(294)に使用する。サーミスタ切り換え温度 $T_s = +15^{\circ}\text{C}$ (860)と設定すると、測定温度範囲(850)は、 $-40^{\circ}\text{C} \sim +15^{\circ}\text{C}$ の低温域と、 $+15^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ の高温域の2つの範囲に分けられる。低温用サーミスタC(840)は $-40^{\circ}\text{C} \sim +15^{\circ}\text{C}$ の低温域内で精度の高い測定が可能で、同様に、高温用サーミスタA(820)は、 $+15^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ の高温域で精度の高い測定ができる。図5のフローチャートで、まず、低温用サーミスタ1(284)と温度測定回路1(283)で温度測定を行い(510、511、512、513、514、515、520)、測

定温度とセンサー切り換え温度との比較を行なう(521)。測定温度がセンサー切り換え温度より高い場合は、高温用サーミスタ2(294)と温度測定回路2(293)で、温度の再測定を行なう(530、531、532、533、534、535、540)。測定温度がセンサー切り換え温度より低い場合は、再測定を行なわない。以上で得られた高精度の測定温度より、水晶発振周波数偏差を求め(550)、割り込み周期の補正値を算出し(560)、温度補正された計時値を算出して(570)、タイマ割り込みサブルーチンを完了する(580)処理は、1センサー方式の場合と全く同等である。図5のフローチャートでは、温度から水晶発振\*

$$\Delta f(T)/f = -a(T-25)^2 \cdots (6000)$$

$$a = 0.033 \cdots (6001)$$

これを温度Tで微分すると、グラフの傾きが求められる。※ ※【0059】

$$\Delta(\Delta f(T)/f)/\Delta T = -2a(T-25) \cdots (6002)$$

タイマ0の割り込み周期 $\tau_0$ が1Hzの場合は

$$\tau_0 = 1 \text{ [sec]} \cdots (6004)$$

となるため、

$$\Delta \tau(T) = -\tau_0 \times \Delta f(T)/f \cdots (340)$$

式(340)に代入すると

$$\Delta t(T) = \Delta T \times \Delta(\Delta \tau(T))/\Delta T \cdots (6006)$$

ここに、式(6005)を代入すると

$$\Delta t(T) = \Delta T \times \Delta(-\Delta f(T)/f)/\Delta T \cdots (6007)$$

更に、式(6002)を代入すると

$$\Delta t(T) = 2a(T-25)\Delta T \cdots (6008)$$

となり、この例の係数(6001)を代入すると、

$$\Delta t(T) = 0.066(T-25)\Delta T \cdots (6009)$$

が得られる。

30☆009)より、

【0061】温度測定誤差 $\Delta T = \pm 1^\circ\text{C}$ の場合、式(6☆

$$\Delta t(T) = \pm 0.066(T-25) \cdots (6010)$$

となり、式(6010)に各温度での温度補正後の計時値誤差 $\Delta t$  [ppm]を計算すると、下記の値になる。

【0062】

測定温度 T [°C]	計時値誤差 $\Delta t$ [ppm]
70	± 2.97
60	± 2.31
50	± 1.65
40	± 0.99
30	± 0.33
25	± 0.00
20	± 0.33
10	± 0.99
0	± 1.65
-10	± 2.31
-20	± 2.97
-30	± 3.63
-40	± 4.29

\* 周波数偏差を求める手法としてデータテーブル変換を用いた例(550)であるが、演算方式による変換を用いることも可能である。

【0057】以上の制御により、高精度に温度補正された計時値を得ることが出来る。一般的によく使用される比較的安価なサーミスタを用いても、 $\pm 1^\circ\text{C}$ 程度の温度測定は、容易に実現できる。図6の水晶発振周波数温度特性の例で、測定温度誤差が計時値の誤差に与える影響を試算してみる。まず、水晶発振周波数温度特性のグラフは、下記の2次関数式で与えられる。

【0058】

$$\star \Delta \tau(T) = -\Delta f(T)/f \cdots (6005)$$

となる。従って、測定温度誤差によるタイマ0割り込み周期の補正値 $\Delta \tau(T)$ の誤差、つまり、温度補正を行った計時値の誤差 $\Delta t(T)$ は、下記演算式で求められる。

★ 【0060】

周波数の温度補正のために、32.768 KHzの水晶発振クロックを、温度によって1秒毎に、1または2パルス追加していたが、1パルス幅が、30.5  $\mu\text{sec}$ であるため、計時値の温度補正精度は、30.5 ppm (30.5  $\mu\text{sec}/1\text{sec}$ )が限界であった。本発明の実施例で、水晶発振周波数温度特性が上記式(6000)で2次関数演算近似できる場合は、温度補正自体の誤差はほぼ0、温度測定誤差 $\Delta T = \pm 1^\circ\text{C}$ による計時値の誤差は、最悪でも、 $\pm 4.3\text{ ppm}$  ( $T = -40^\circ\text{C}$ )の高精度計時装置が実現できる。更に、高精度サーミスタで上記複数センサー方式を用いることにより、 $\pm 0.05^\circ\text{C}$ 程度まで温度測定することも可能である。その場合の計時値の温度補正は、さらに高精度に実現できる。

【0063】温度測定誤差 $\Delta T = \pm 0.05^\circ\text{C}$ の場合、式(6009)より、

$$\Delta t(T) = \pm 0.0033(T - 25) \dots (6011)$$

となり、式(6011)に各温度での温度補正後の計時値誤差 $\Delta t$  [ppm]を計算すると、下記の値になる。

【0064】

測定温度 T [°C]	計時値誤差 $\Delta t$ [ppm]
70	$\pm 0.1485$
60	$\pm 0.1155$
50	$\pm 0.0825$
40	$\pm 0.0495$
30	$\pm 0.0165$
25	$\pm 0.0000$
20	$\pm 0.0165$
10	$\pm 0.0495$
0	$\pm 0.0825$
-10	$\pm 0.1155$
-20	$\pm 0.1485$
-30	$\pm 0.1815$
-40	$\pm 0.2145$

この場合、 $\Delta t$ のMAX. 値 $\pm 0.2145$  [ppm] ( $T = -40^\circ\text{C}$ )となり、非常に高精度の計時誤差が実現できる。この値を年差換算すると、

365 [日]  $\times$  24 [時]  $\times$  60 [分]  $\times$  60 [秒]  
 $\times (\pm 0.2145 \text{ [ppm]}) = \pm 6.76$  [秒]  
 となり、 $-40^\circ\text{C}$  から  $70^\circ\text{C}$  までの広い温度範囲で使用できる、最大年差約 $\pm 7$ 秒の計時装置が比較的安価に、かつ、携帯性を損なわず実現できる。

【0065】

【発明の効果】本発明の計時装置は、上記のように、計時カウント毎に、その時点での温度測定を行い、温度変化による水晶発振周波数精度の変動を、高精度に、かつ、リアルタイムに補正しながら計時データを算出できるため、また、それを実現するための追加部品及び回路が、安価で小型のサーミスタ、基準抵抗、水晶発振子、コンデンサ、時計用マイクロコンピュータとマイクロコンピュータに内蔵された水晶発振回路とCR発振回路とで実現できるため、安価で、小型計量で、高精度に計時データが温度補正された、計時装置が実現できる。

【0066】さらに、計時データ補正のために測定した温度を、表示または出力する事により、計時装置に温度計の機能を付加することも可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例であるマイクロコンピュータ制御による1センサー方式の温度補正計時機能を持つデジタル時計のブロック図。

【図2】本発明の実施例であるマイクロコンピュータ制御による2センサー方式の温度補正計時機能を持つデジタル時計のブロック図。

【図3】温度より水晶発振周波数偏差をデータテーブル交換によって求める温度補正計時機能の制御フローチャート。

【図4】温度より水晶発振周波数偏差を自乗演算によって求める温度補正計時機能の制御フローチャート。

【図5】低温用と高温用との2センサー方式による温度補正計時機能の制御フローチャート。

【図6】水晶発振周波数精度温度特性のグラフ。

【図7】データRAM上の計時データの構成図。

【図8】温度センサ(サーミスタ)の抵抗値温度特性のグラフ。

10 【符号の説明】

100...マイクロコンピュータ

110...CPU

111...バス

120...ROM

130...RAM

140...I/O

141...計時データ出力

142...操作SW

150...LCDドライバ

20 151...LCDパネル

160...水晶発振回路

161...水晶発振子

162...C0

170...分周回路

171...タイマ0

172...1Hz割り込み発生回路

180...温度測定回路1

181...タイマ1

182...CR発振周波数カウンタ1

30 183...CR発振回路1

184...サーミスタ1

185...C1

186...基準抵抗1

200...マイクロコンピュータ

210...CPU

211...バス

220...ROM

230...RAM

240...I/O

40 241...計時データ出力

242...操作SW

250...LCDドライバ

251...LCDパネル

260...水晶発振回路

261...水晶発振子

262...C0

270...分周回路

271...タイマ0

272...1Hz割り込み発生回路

50 280...温度測定回路1

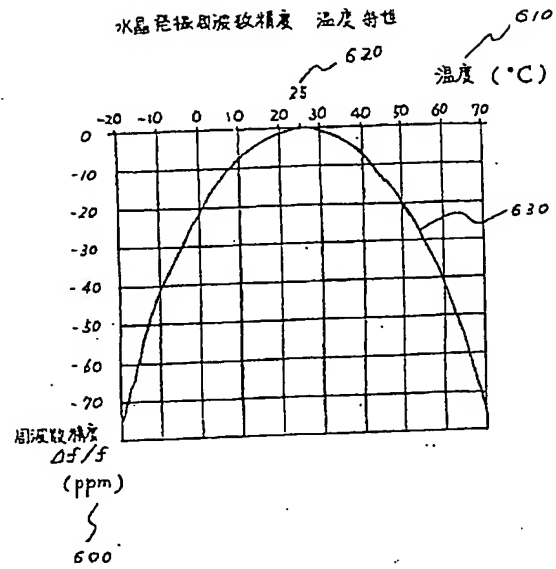
21

281... タイマ1  
 282... CR発振周波数カウンタ1  
 283... CR発振回路1  
 284... サーミスタ1  
 285... C1  
 286... 基準抵抗1  
 290... 温度測定回路1  
 291... タイマ2  
 292... CR発振周波数カウンタ2  
 293... CR発振回路2  
 294... サーミスタ2  
 295... C2  
 296... 基準抵抗2  
 300... INT,  $\tau_0$   
 310... CR・OSC: on  
 311... タイマ1 : start  
 312... CR・CNT: up  
 313... タイマ1 : OVF  
 314... CR・CNT: stop  
 315... CR・OSC: off  
 320... CNT (T)  $\rightarrow$  T  
 330...  $T \rightarrow \Delta f(T) / f$   
 340...  $\Delta \tau(T) = -\tau_0 \times \Delta f(T) / f$   
 350...  $t_{\text{new}}(T) = t_{\text{pre}}(T) + \tau_0 + \Delta \tau(T)$   
 360... RET  
 400... INT,  $\tau_0$   
 410... CR・OSC: on  
 411... タイマ1 : start  
 412... CR・CNT: up  
 413... タイマ1 : OVF  
 414... CR・CNT: stop  
 415... CR・OSC: off  
 420... CNT (T)  $\rightarrow$  T  
 430...  $\Delta f(T) / f = -a(T - T_0)^2$   
 440...  $\Delta \tau(T) = -\tau_0 \times \Delta f(T) / f$   
 450...  $t_{\text{new}}(T) = t_{\text{pre}}(T) + \tau_0 + \Delta \tau(T)$   
 460... RET  
 500... INT,  $\tau_0$   
 510... CR・OSC1: on

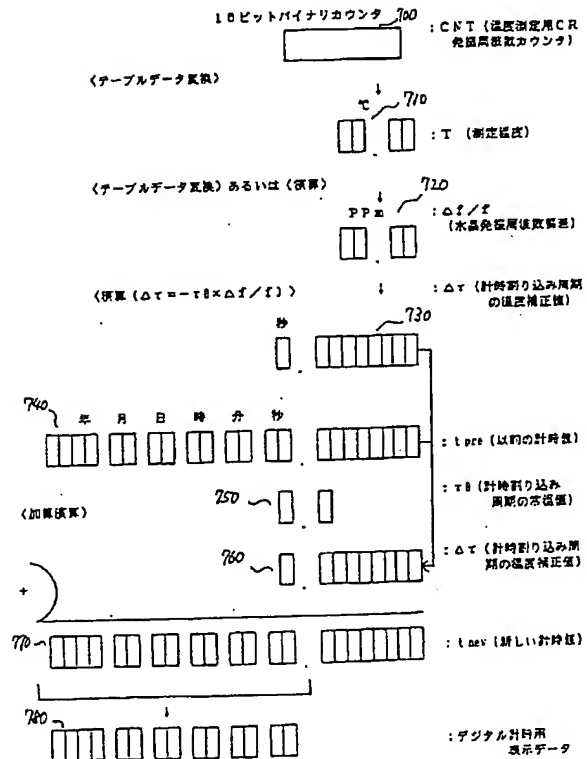
22

511... タイマ1 : start  
 512... CR・CNT1: up  
 513... タイマ1 : OVF  
 514... CR・CNT1: stop  
 515... CR・OSC1: off  
 520... CNT (T)  $\rightarrow$  T  
 521...  $T > T_0$   
 530... CR・OSC2: on  
 531... タイマ2 : start  
 10 532... CR・CNT2: up  
 533... タイマ2 : OVF  
 534... CR・CNT2: stop  
 535... CR・OSC2: off  
 520... CNT (T)  $\rightarrow$  T  
 550...  $T \rightarrow \Delta f(T) / f$   
 560...  $\Delta \tau(T) = -\tau_0 \times \Delta f(T) / f$   
 570...  $t_{\text{new}}(T) = t_{\text{pre}}(T) + \tau_0 + \Delta \tau(T)$   
 580... RET  
 20 600... 周波数精度  $\Delta f / f$  (ppm) : 縦軸  
 610... 温度 (°C) : 横軸  
 620... 25°C 中央点  
 630... 温度特性グラフ  
 700... CNT (温度測定用CR発振周波数カウンタ)  
 710... T (測定温度)  
 720...  $\Delta f / f$  (水晶発振周波数偏差)  
 730...  $\Delta \tau$  (計時割り込み周期の温度補正值)  
 740...  $t_{\text{pre}}$  (以前の計時値)  
 30 750...  $\tau_0$  (計時割り込み周期の常温値)  
 760...  $\Delta \tau$  (計時割り込み周期の温度補正值)  
 770...  $t_{\text{new}}$  (新しいの計時値)  
 780... デジタル時計用表示データ  
 800... サーミスタ抵抗 (K $\Omega$ ) : 縦軸  
 810... 温度 (°C) : 横軸  
 820... A  
 830... B  
 840... C  
 850... 測定温度範囲  
 40 860... サーミスタ切り換え温度  $T_s$

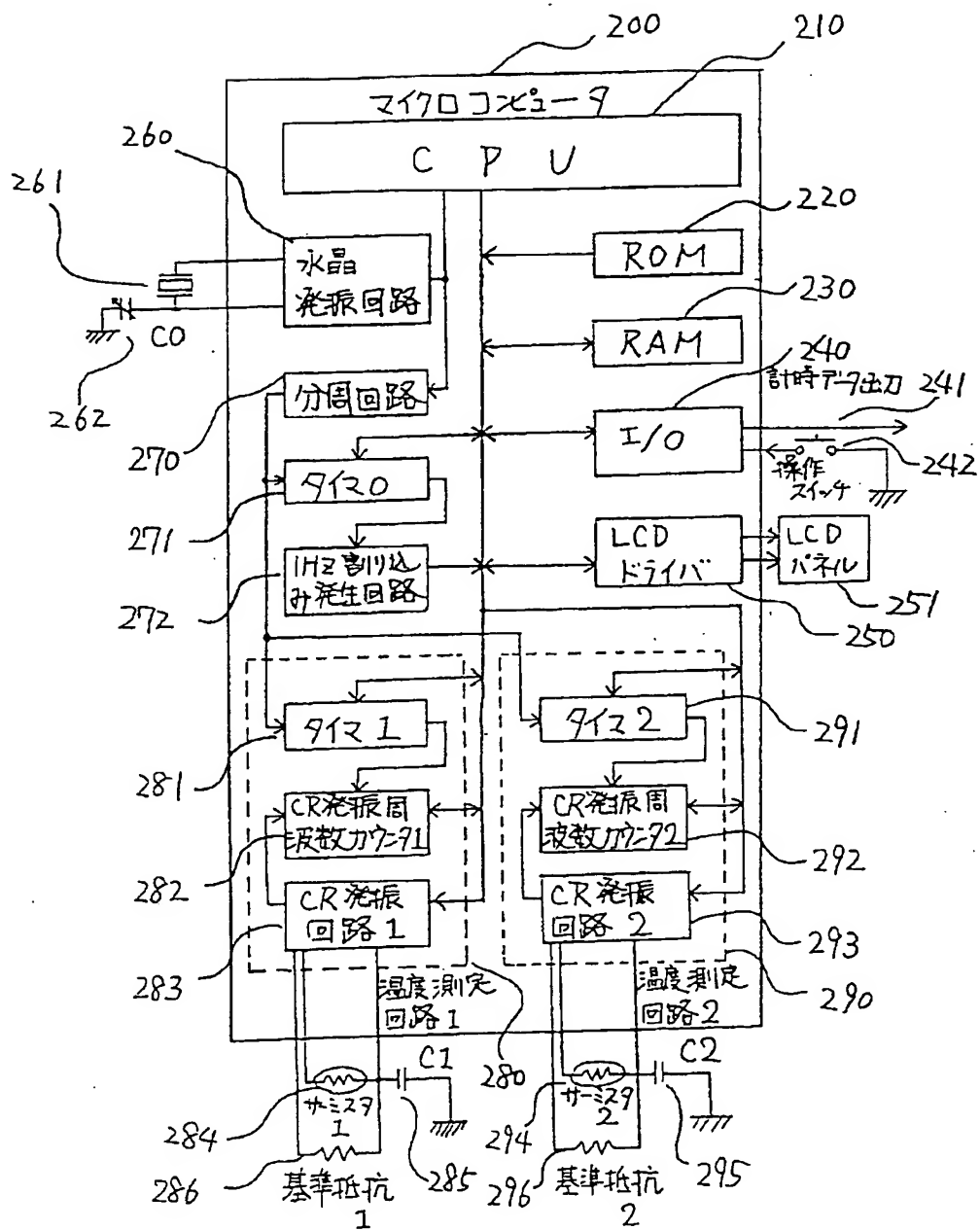
【図6】



【図7】

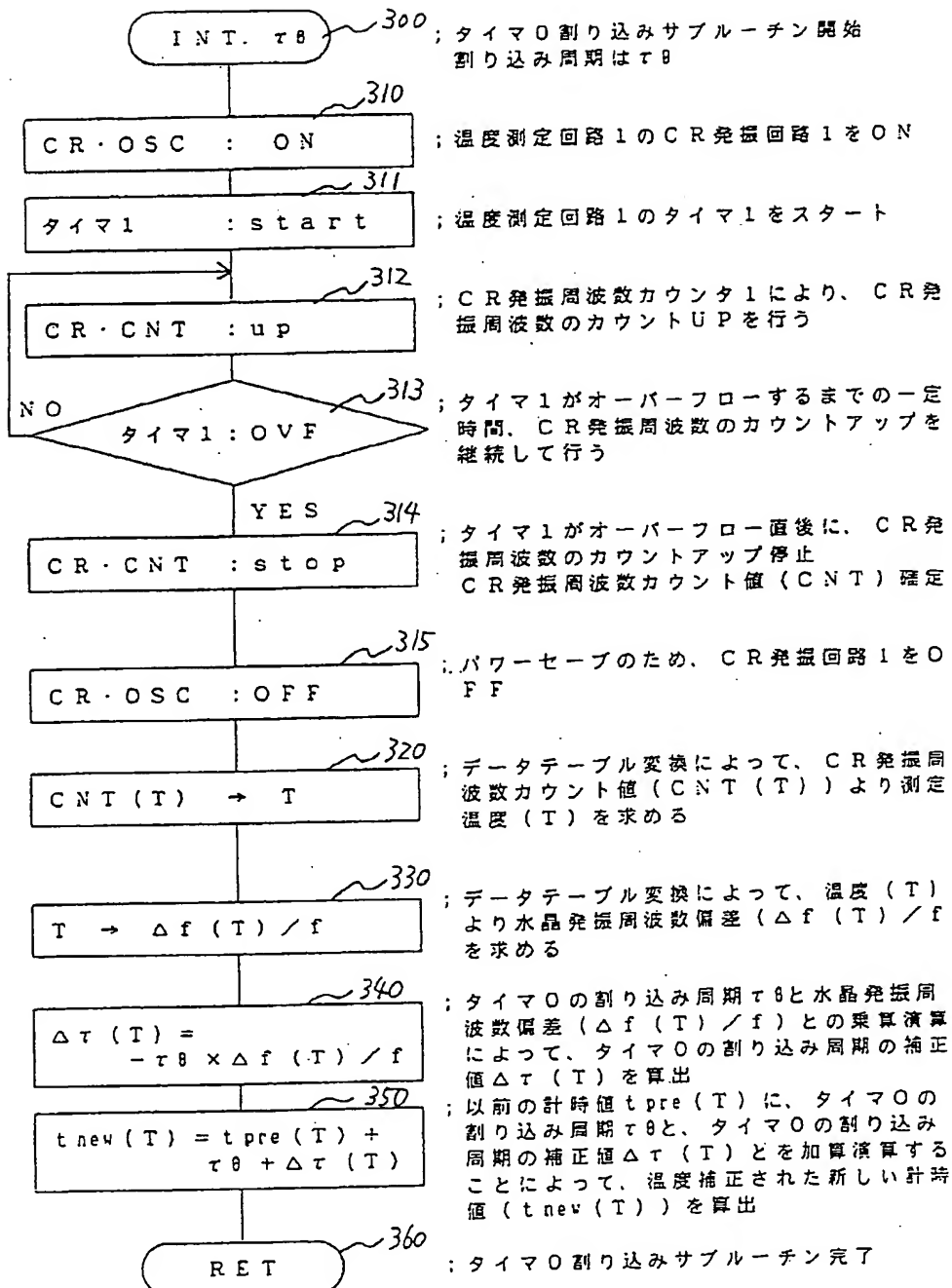


【圖 2】

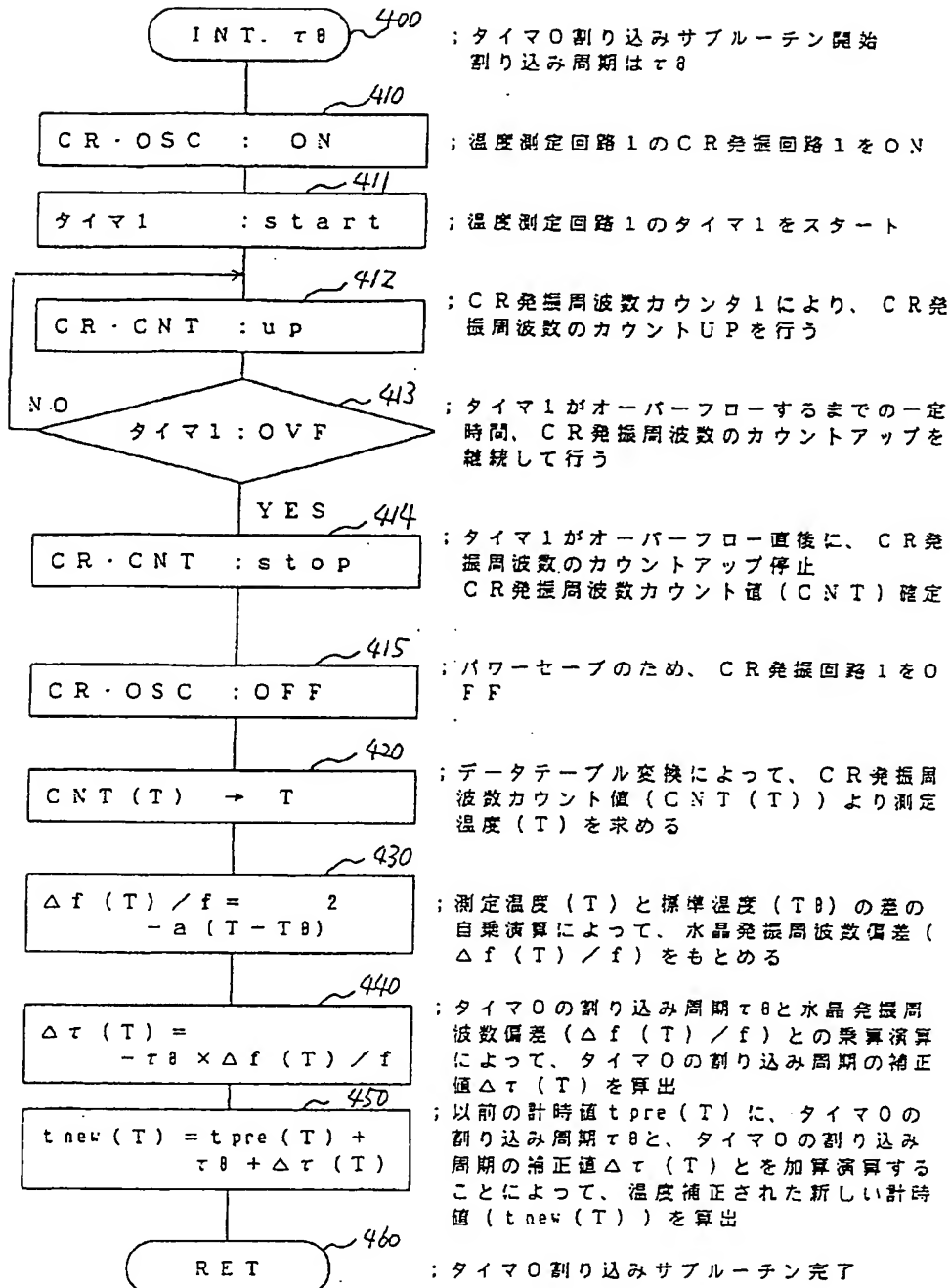




【図3】



【図4】



【図5】



【図8】

